

TITLE: Plano de Ação Emergencial PCH CABEÇA DE BOI – 1.129/25ANEEL

AVAILABLE LANGUAGE: PT

Plano de Ação Emergência

PCH CABEÇA DE BOI – RN1129/25 ANEEL

File: GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.04.docx

04	15.12.25	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOUVEIA		JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA
03	12.12.24	<i>O & M Country</i>	PEDRO ERNESTO	BRUNA GOMIDES	JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA
02	22.12.23	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOMIDES GOUVEIA	RAQUEL MARTINS	JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA
01	15.12.22	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOMIDES GOUVEIA		JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA
00	15.12.21	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOMIDES GOUVEIA		JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA
<i>REV.</i>	<i>DATE</i>	<i>DESCRIPTION</i>	<i>PREPARED</i>	<i>CONTRIBUTION</i>	<i>VERIFIED</i>	<i>VALIDATED</i>

Controle de Distribuição do Plano de Ação Emergencial

Somente para Uso Oficial

Cópia	Entidade	Recebimento	Identificação	Assinatura

Controle de Revisão e Atualização dos Contatos dos Agentes Internos e Externos

Revisão	Data	Preparado	Revisão / Atualização / Descrição
00	15/12/2021	Bruna Gomides Gouveia	Emissão Inicial
01	15.12.2022	Bruna Gomides Gouveia	Atualização de Equipe, contatos e Mapas de Mancha de Inundação.
02	22.12.2023	Bruna Gomides Gouveia	Atualização de Equipe, Relatório de Cadastramento ZAS, Mapeamento ZSS, Relatório de Plano de Evacuação
03	12.12.2024	Pedro Ernesto	Atualização da Equipe e Realização de Simulado
04	15.12.2025	Bruna Gouveia	Atualização da Equipe e Instalação de Sirenes

Esse documento substitui o relatório GRE.OEM.R.88.BR.H.68501.09.015.03_PAE-PCH Cabeça de Boi.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. RESPONSÁVEIS PELO DOCUMENTO	4
2.1. REFERÊNCIA	5
3. IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR	5
4. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO DO PSB E PAE	5
4.1. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE	5
5. FICHA TÉCNICA	5
6. RESPONSABILIDADES GERAIS DO PAE	6
6.1. EMPREENDEDOR	6
6.2. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE	7
6.3. COORDENAÇÃO TÉCNICA CIVIL - ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM	7
6.4. RESPONSÁVEL LOCAL NA BARRAGEM	7
6.5. ORGANIZAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA	7
7. CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA	10
8. AÇÕES ESPERADAS PARA CADA NÍVEL DE RESPOSTA	11
9. FLUXOGRAMA DE NOTIFICAÇÕES E COMUNICAÇÃO	12
9.1. SISTEMA DE PROTEÇÃO, DEFESAS CIVIS E AGENTES INTERNOS E EXTERNOS	13
10. SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DE RUPTURA DA BARRAGEM	15
10.1. PARÂMETROS E CRITÉRIOS ADOTADOS	16
10.2. RESULTADOS DOS MODELOS DE RUPTURA	17
10.3. VERIFICAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS POR MÉTODOS EMPÍRICOS	19
10.4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	21
10.5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	25
11. TREINAMENTOS – PAE	26
12. SISTEMA SONORO DE ALERTA	26
13. ASSINATURA DOS RESPONSÁVEIS	27
14. ANEXOS	28
ANEXO 1: MAPAS ZONA DE AUTOSSALVAMENTO	28
ANEXO 2: PLANO DE EVACUAÇÃO	28
ANEXO 3: RELATÓRIO SIMULADO DE MESA TABLETOP	28
ANEXO 4 – RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE SIRENES	28

 Green Power	Operation & Maintenance	CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.04 PAGE 4 of 28
---	------------------------------------	--

1. INTRODUÇÃO

O **Plano de Ação de Emergência (PAE)** é parte integrante do **Plano de Segurança da Barragem (PSB)** da UHE Cabeça de Boi tem por finalidade atender as Resoluções Normativas da ANEEL1129 de 01 de julho de 2025 e nº 1064 de 2 de maio de 2023, que estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor.

Conforme apresentado no **PSB**, a PCH Cabeça de Boi foi **classificada como “C”**, avaliada na Categoria de Risco Baixa e Dano Potencial Associado Médio. O **PSB** é um documento formal em que estão estabelecidas as ações a serem executadas visando a manutenção da integridade física a barragem, bem como em caso de situação de emergência.

O PAE constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B segundo a matriz de classificação da barragem, ou conforme sua categoria de risco e dano potencial associado como médio ou alto.

Em conformidade a da ANEEL1129 de 01 de julho de 2025, para a barragem PCH Cabeça de Boi classificada como de Dano Potencial Associado Médio, apresentado no item 2 deste relatório, o Plano de Ação de Emergência de Ruptura de Barragem.

O presente documento apresenta o **PAE de Ruptura de Barragem**, conforme determina o §3º do Artº13 da RN1064/2023 ANEEL, e considera o conteúdo mínimo previsto no Artº12 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, conduzida pelo responsável técnico do **PSB**.

De acordo com RN1064/2023, o **PAE** deve estar disponível no site do empreendedor, no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado aos organismos de defesa civil.

O PAE pode ser encontrado no site: <https://www.enel.com.br/pt/quemsomos/archive/d2018-comportamento-etico/plano-de-acao-de-emergencia.html#>

2. RESPONSÁVEIS PELO DOCUMENTO

Responsável pela elaboração do documento:

- Engenheira Bruna Gomides Gouveia

Responsável pela aprovação do documento:

- Engenheira Juliana Martins Pereira

2.1. REFERÊNCIA

- Ref. [1]: H355812-00000-200-230-0004_0B_V3- PCH CABEÇA DE BOI

3. IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR

- Diretor Jayme Barg

4. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO DO PSB E PAE

- Engenheira Juliana Martins Pereira

4.1. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE

- Diemes Fernandes Machado

5. FICHA TÉCNICA

Localização	
Curso de água	Rio Apicás
Município	Alta Floresta Juara
Unidade de Federação	MT
Coordenadas Norte e Leste	10° 21'16,23"S / 56° 59'06,63"
Existência de barragens a montante e a jusante	Duas à jusante – UHE Salto Apicás e PCH da Fazenda
Barragem de Enrocamento	
Tipo	Enrocamento com núcleo em solo compacto
Altura máxima acima da fundação (m)	25,00
Cota do coroamento	275,00
Comprimento do coroamento	287,00
Largura do coroamento (m)	6,00
Inclinação do paramento de montante (V:H)	1:1,5
Inclinação do paramento de jusante (V:H)	1:1,5
Barragem da margem a direita	
Tipo	Concreto compacto a rolo
Altura máxima acima da fundação (m)	13,00
Cota do coroamento	275,00
Comprimento do coroamento	44,00
Largura do coroamento (m)	6,00
Inclinação do paramento de montante (V:H)	Vertical
Inclinação do paramento de jusante (V:H)	1:0,55
Bacia hidrográfica	
Área drenada (km ²)	7.211
Precipitação média anual da bacia (mm)	2.246

Vazão máxima registrada (m ³ /s)	1.373
Reservatório	
Nível Mínimo Operacional (MNO)	271,50
Nível Máximo Normal (NMN)	271,50
Nível Máximo Maximorum (TR = 1000 anos)	273,00
Nível Máximo Excepcional (TR = 10.000 anos)	273,15
Volume do reservatório (10 ⁶ m ³)	1,84
Área inundada do NMN (km ²)	0,70
Extravasor de cheias	
Localização	Margem Esquerda
Tipo	Soleira livre
Vazão do projeto (TR = 1000 anos) (m ³)	1.860,00
Cota da soleira	271,50
Largura útil do extravasor (m)	483,00
Tipo de dissipador de energia	Degrais

6. RESPONSABILIDADES GERAIS DO PAE

6.1. EMPREENDEDOR

A gestão do **PAE** é atribuição da **ENEL** que, em conjunto com o **Engenheiro Responsável pela Barragem**, manterá a gestão operativa utilizando a estrutura presente na Empresa, incluindo os recursos de telecomunicação para transferência de dados e informações e, se necessário, para conectar-se a terceiros.

É atribuição do **Empreendedor**:

1. Providenciar a elaboração e atualização do PAE;
2. Promover treinamentos internos e manter os respectivos registros das atividades;
3. Participar de simulações de situações de emergência, em conjunto com os agentes externos.

Abaixo se encontram elencados os profissionais envolvidos, atribuições e responsabilidades para gerir os procedimentos em situação de emergência.

4. Participar de simulações de situações de emergência, em conjunto com os agentes externos.
5. Notificar os órgãos fiscalizadores a nível estadual, além do Operador do Sistema Elétrico (ONS) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em caso de Nível de Resposta 2 (laranja) ou Nível de Resposta 3 (vermelho).
6. Disponibilizar informações, de ordem técnica, para a Defesa Civil, quando solicitado formalmente.

Abaixo se encontram elencados os profissionais envolvidos, atribuições e responsabilidades para gerir os procedimentos em situação de emergência.

 Green Power	Operation & Maintenance	CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.04 PAGE 7 of 28
---	------------------------------------	--

6.2. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE

O coordenador do **PAE** é responsável, por delegação do Empreendedor pelas seguintes ações;

- Detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial;
- Declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAE;
- Executar as ações previstas no fluxograma de notificação;
- Iniciar o processo de notificação para a zona de Autossalvamento (ZAS)
- Notificar os agentes externos e autoridades públicas em caso de situação de emergência;
- Emitir declaração de encerramento de emergência;
- Elaborar o relatório de fechamento de eventos de emergência.

O coordenador do PAE receberá treinamentos através da coordenação técnica civil.

6.3. COORDENAÇÃO TÉCNICA CIVIL - ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Profissional competente para dar o suporte técnico relativo ao comportamento e segurança da barragem e das estruturas hidráulicas. Responsável pela emissão de atestados de responsabilidade técnica junto ao **Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA** para os assuntos que se referem à segurança da barragem.

6.4. RESPONSÁVEL LOCAL NA BARRAGEM

Encarregado geral da barragem, indicado para execução das manobras e inspeções rotineiras de campo.

6.5. ORGANIZAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA

Será apresentada nesse item a organização da equipe técnica capacitada a realizar atividades relacionadas à segurança de barragens em situação de Emergência

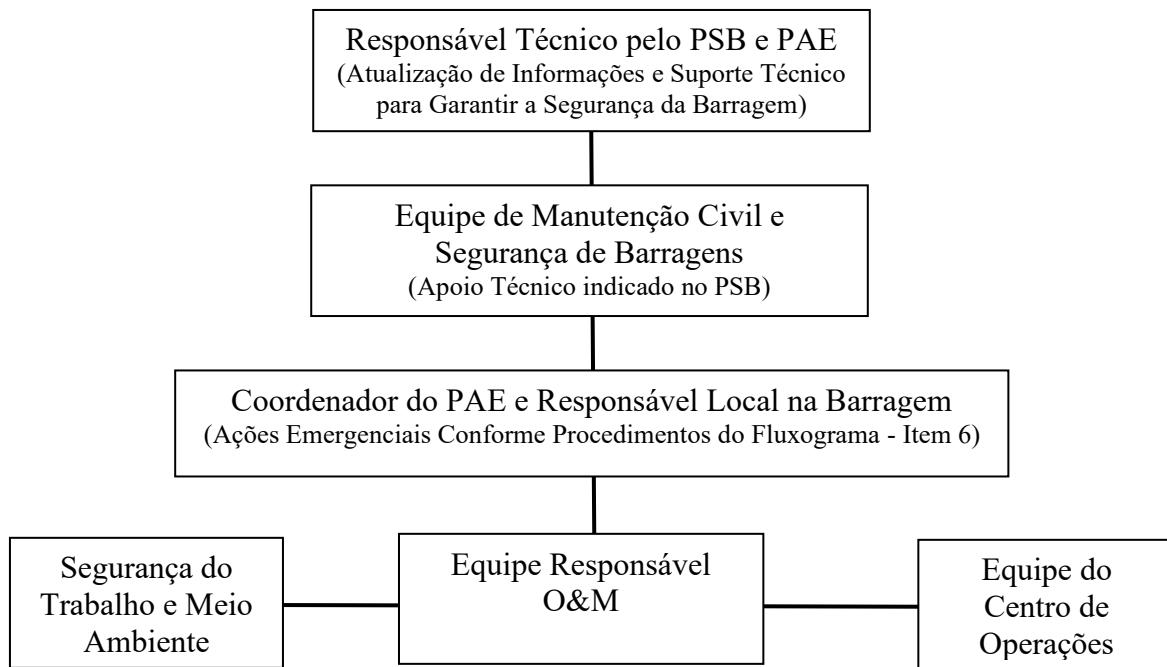


Figura 1 – Organização da Equipe Técnica

A tabela a seguir apresenta o número de profissionais e disponibilidade em operação normal e emergencial da barragem da PCH Cabeça de Boi conforme diretriz organizacional nº 1271 de 14 de março de 2025 e diretriz organizacional nº 2146 de 14 de março de 2025.. A equipe disponível indicada no **item 6 do PSB**, com qualificação técnica de segurança de barragens.

Tabela 1 – Disponibilidades em Operação Normal e Emergência

Responsável Técnico pelo PSB e PAE				
Nº de pessoas	Função	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
1	Gerente	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
Equipe de Manutenção Civil e Segurança de Barragem				
Nº de pessoas	Função	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
6	Especialistas	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
9	Especialistas	Parcial	Total	Rio de Janeiro-RJ
Coordenador do PAE e Responsável Local na Barragem				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
1	Encarregado	Total	Total	Alta Floresta -MT
Equipe Responsável O&M				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
1	Gerente	Total	Total	Cuiabá-MT
1	Coordenador	Total	Total	Cuiabá-MT
3	Mantenedores	Total	Total	Alta Floresta -MT
2	Técnicos	Total	Total	Cuiabá-MT
Equipe de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
1	Diretor de QSMS	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
2	Coordenadoras de QSMS	Parcial	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Especialista de Meio Ambiente	Total	Total	Cuiabá-MT
1	Técnico de Segurança do Trabalho	Total	Total	Cuiabá-MT
Equipe do Centro de Operações				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
1	Gerente	Total	Total	Rio de Janeiro
1	Supervisor	Total	Total	Rio de Janeiro
2	Técnicos	Total	Total	Rio de Janeiro
Comunicação e Mídia				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Locação
1	Diretora de Comunicação com a Mídia	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Responsável Relações com a Mídia	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Diretor de Relações Institucionais	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Responsável de Relações Institucionais	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Diretora de Regulação	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Responsável de Relações Institucionais	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ

7. CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA

As ações demandadas frente à identificação de uma anomalia na barragem da PCH Cabeça de Boi serão efetuadas em função do NÍVEL DE RESPOSTA frente à situação observada.

Os níveis de resposta **NORMAL (NR-0)** e **ATENÇÃO (NR-1)** se referem às situações anômalas que não comprometem, imediatamente, a segurança da barragem, mas que demandam ações ditas preventivas de modo a evitar a evolução. Os níveis de **ALERTA (NR-2)** e **EMERGÊNCIA (NR-3)**, por se referirem às situações de risco à segurança no curto prazo ou de ruptura iminente, ativam um processo de emergência na estrutura, exigindo o cumprimento do estabelecido neste PAE.

Os critérios para o enquadramento do NÍVEL DE RESPOSTA encontram-se indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios para enquadramento do Nível de Resposta (NR) (Parte 1/2)

SITUAÇÃO ADVERSA	NORMAL (NR-0)	Quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser monitoradas e controladas ao longo do tempo. Configura ESTADO NORMAL . Segurança da estrutura não é afetada.
	ATENÇÃO (NR-1)	Quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem no curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas. Configura ESTADO DE ATENÇÃO . Segurança da estrutura pode ser afetada em médio prazo.

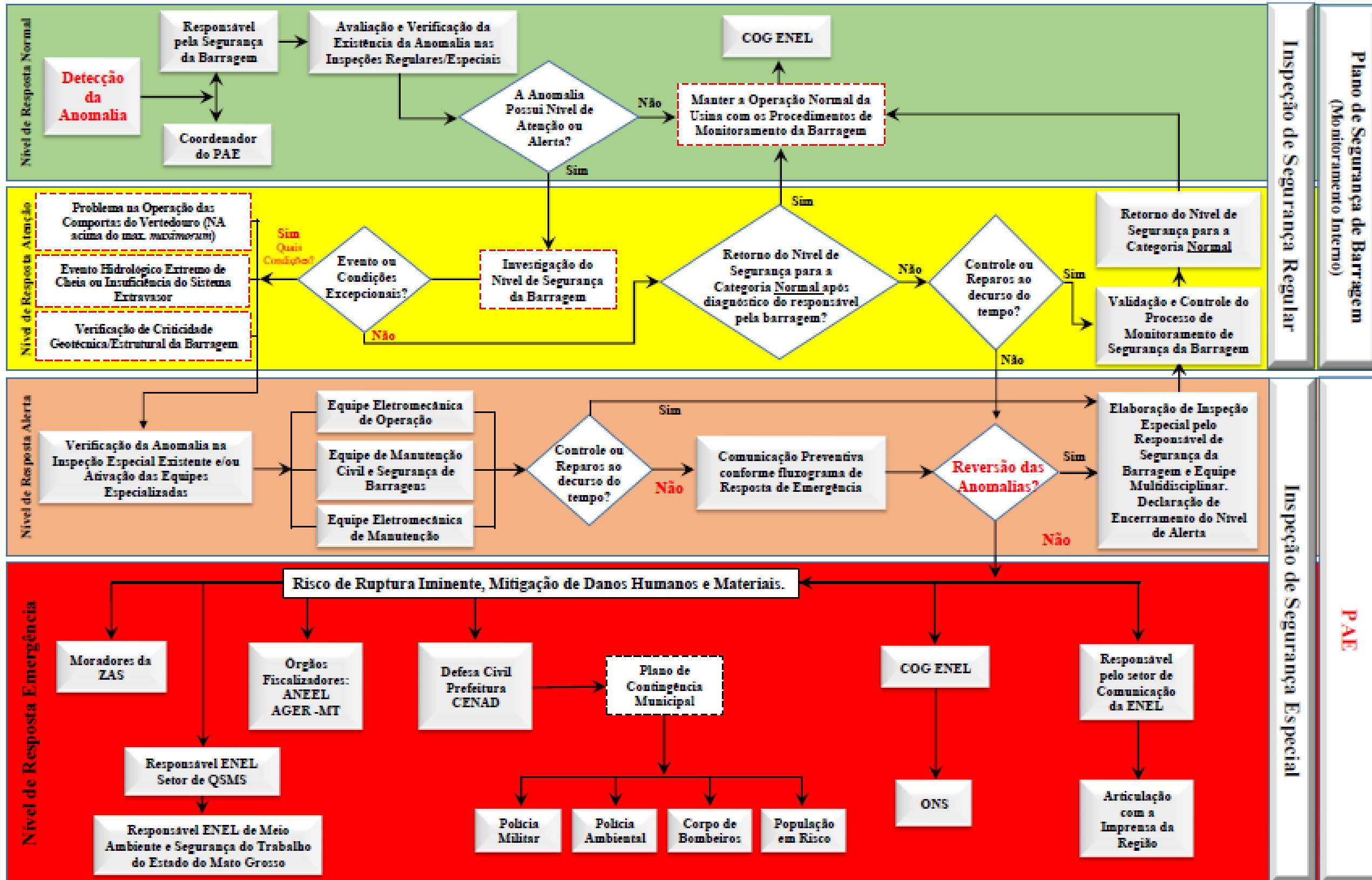
Tabela 2 – Critérios para enquadramento do Nível de Resposta (NR) (Parte 2/2)

SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA	ALERTA (NR-2)	<p>Quando as anomalias encontradas representam risco à segurança da barragem no curto prazo, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema.</p> <p>Configura ESTADO DE ALERTA.</p> <p>Segurança da estrutura pode ser afetada em curto prazo, sendo a situação ainda passível de mitigação.</p> <p>Considera-se que não há certeza de que se consiga controlar a situação, requerendo total prioridade das ações mitigadoras.</p> <p>Requer a realização de atividade(s) de Inspeção de Segurança Especial.</p>
	EMERGÊNCIA (NR-3)	<p>Quando as anomalias encontradas representem risco de ruptura iminente ou em que a ruptura está ocorrendo, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes do colapso da barragem.</p> <p>Configura ESTADO DE EMERGÊNCIA.</p> <p>O alerta para a evacuação da Zona de Autossalvamento é obrigatório, assim como o acionamento de todos os agentes externos listados neste PAE.</p> <p>A Situação de Emergência encontra-se fora do controle e está afetando a segurança estrutural da barragem de maneira severa e irreversível. Um acidente é inevitável ou a estrutura já se encontra em colapso.</p>

8. AÇÕES ESPERADAS PARA CADA NÍVEL DE RESPOSTA

As ações esperadas para cada situação envolvem a adoção de ações de controle/resposta e de notificação próprias para cada Nível de Resposta, conforme indicado a seguir no fluxograma de comunicação

9. FLUXOGRAMA DE NOTIFICAÇÕES E COMUNICAÇÃO



9.1. SISTEMA DE PROTEÇÃO, DEFESAS CIVIS E AGENTES INTERNOS E EXTERNOS

CARGO	CONTATO	ENDEREÇO ELETRÔNICO	TELEFONE
Responsável Legal Diretor	Jayme Barg		
Engenheiro Responsável pelo Plano de Segurança de Barragem e Gerente Segurança de Barragem e Infraestrutura Civil	Juliana Martins Pereira		
Responsável pelas ações do PAE	Diemes Fernandes Machado		
Gerente de Operação e Manutenção	Ademar Borges da Silva		
Mantenedor	Marcos Pereira		
Mantenedor	Joel Silva		
Mantenedor	Nelson Correa		
Diretor de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente QSMS	Thiago De Figueiredo Mundim		
Coordenadora de Segurança do Trabalho	Alessandra Conceição		
Coordenadora de Meio Ambiente	Soraya Cavalieri		
Responsável pela Segurança do Trabalho em Mato Grosso	Valdivino Rosa		
Responsável de Meio Ambiente em Mato Grosso	James Colodel		
Gerente do Centro de Operações - COG	Igor Teixeira Logsdon		
Tempo Real - COG	Tempo Real		
Diretor de Comunicação	Helio Muniz		
Responsável Relações com a Mídia	Maria Fernanda de Freitas		
Responsável de Relações Institucionais	Alexandra Valença		
Diretora de Regulação	Anna Paula Pacheco		
Responsável de Regulação	Aldo de Jesus Pessanha		

ENTIDADE	CARGO	CONTATO	ENDEREÇO ELETRÔNICO	TELEFONE	ENDEREÇO
Prefeitura Municipal de Alta Floresta	Prefeito	Valdemar Gamba	gabineteprefeito@altafloresta.mt.gov.br	(66)3512-3100 \ (66) 3512-3150	Travessa Álvaro Teixeira Costa, 50, Canteiro Central
Prefeitura Municipal de Juara	Prefeito	Valdinei Holanda Moraes (Nei da Farmácia)	gabinete@juara.mt.gov.br	(66) 3556-9400	Rua Niterói 81-N, Juara,
Defesa Civil	Superintendente	TC BM Luis Cláudio Pereira da Cruz	defesacivil@defesacivil.mt.gov.br	(65) 3613-8406	Rua: General Neves, 69, Duque de Caxias; 78043-256 Cuiabá - Mato Grosso
Companhia de Bombeiros Militar	Chefe	Capitão BM André Conca Neto	7cibm@cbm.mt.gov.br	(66) 3521-2467 / 4766	Avenida Perimetral Rogério Silva, nº 3251, Setor B - Alta Floresta/MT
Polícia Militar de Alta Floresta	Comandante Geral	Tenente-coronel Alessandro Souza Soares	8bpm@pm.mt.gov.br	(66) 3521-1716	Rodovia MT 208, KM 145, Trevo São Cristóvão, CEP 78.580-000
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica	Diretor	Sandoval de Araujo Feitosa Neto	ouvidoriainstitucional@aneei.gov.br	(66) 2192-8600	Setor de grandes áreas norte, 603, Asa Norte. Brasília DF – CEP: 70830030
Centro Municipal De Saúde Alta Floresta	Secretário	JOSÉ APARECIDO DE SOUZA	=	(66)3903-1250	Travessa Álvaro Teixeira Costa, Nº 50, Canteiro Central, Alta Floresta - MT
IBAMA	Superintendente IBAMA MT	CIBELE MADALENA XAVIER RIBEIRO	gabinete.mt@ibama.gov.br supes.mt@ibama.gov.br	(65) 3363-4640	Av. Rubens de Mendonça, 5350, Bairro Morada da Serra, Cep: 78049-946 - Cuiabá/MT

10. SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DE RUPTURA DA BARRAGEM

A seguir, serão apresentados os principais aspectos dos estudos de ruptura de barragem da PCH Cabeça de Boi, de acordo com a Ref. [01].

Foram analisados os cenários de ruptura mais desfavoráveis, considerando o comprometimento da segurança das populações de jusante ou suas infraestruturas. As simulações em condições hidrológicas “normais”. Os cenários de ruptura simulado para a PCH Cabeça de Boi, são caracterizados a seguir:

- **Cenário 2a.1 – Ruptura do trecho em enrocamento da Barragem da PCH Cabeça de Boi em Condições Normais**

Neste cenário considera-se a ruptura da barragem de enrocamento da PCH Cabeça de Boi durante condições hidrológicas “normais”, ou seja, a ruptura ocorre quando a vazão afluente é a Média de Longo Termo (MLT = 185 m³/s) e o reservatório se encontra em seu Nível Máximo Normal Operativo (NA normal = El. 271,50 m). O hidrograma de cheia gerado pela ruptura passa pelos reservatórios da UHE Salto Apiacás e da PCH da Fazenda, estando ambos operando em Nível Máximo Normal, igual a 247,50 m e 221,00 m, respectivamente.

- **Cenário 2a.2 – Ruptura do trecho em concreto da Barragem da PCH Cabeça de Boi em Condições Normais**

Neste cenário considera-se a ruptura do trecho em concreto da barragem da PCH Cabeça de Boi durante condições hidrológicas “normais”, ou seja, a ruptura ocorre quando a vazão afluente é a Média de Longo Termo (MLT = 185 m³/s) e o reservatório se encontra em seu Nível Máximo Normal Operativo (NA normal = El. 271,50 m). O hidrograma de cheia gerado pela ruptura passa pelos reservatórios da UHE Salto Apiacás e da PCH da Fazenda, estando ambos operando em Nível Máximo Normal, igual a 247,50 m e 221,00 m, respectivamente.

O Tabela 2 apresenta as principais características dos cenários de falha analisados para a PCH Cabeça de Boi.

Tabela 2 – Características dos Cenários Definidos

Cenários	Condição Hidrológica (m ³ /s)	Tempo de Ruptura (min)	N.A. Reservatórios (m)	Tipo de Ruptura
2a.1	185 (Vazão MLT)	15	N.A. Máx.Normal	Ruptura em barragem de enrocamento da PCH Cabeça de Boi
2a.2	185 (Vazão MLT)	12	N.A. Máx.Normal	Ruptura de 10 blocos de concreto na PCH Cabeça de Boi

10.1. PARÂMETROS E CRITÉRIOS ADOTADOS

Os parâmetros de ruptura devem representar a modelagem dos mecanismos de falhas considerados, incluindo características geométricas da brecha que se forma e o tempo que levará para se desenvolver. Para estimativa desses parâmetros, optou-se por utilizar as recomendações dadas pelos manuais de projeto da ANA e do GTPEP, já referenciados, que consideram a forma, a largura, o talude e o tempo de formação da brecha. O Guia da ANA apresenta parâmetros baseados em estudo consolidados pela USBR, 1989.

A largura W do coroamento da barragem é de 836,54 m, sendo 287 m a largura do trecho de enrocamento. A largura da brecha formada é uma função da altura do maciço (h - m), adotada em 26 m (próxima do valor médio ao longo da seção de projeto) e do volume de água armazenado (V - hm^3). Com vistas a explorar as possibilidades de ruptura da barragem, foram definidos dois critérios de projetos distintos: um para o trecho em enrocamento e outro para o vertedouro de soleira livre, construído em concreto.

Assim, a partir dos critérios de projeto adotados, ANA e GTPEP, é possível calcular a largura média da brecha (BR), para uma análise de ruptura do trecho em enrocamento, como:

- GTPEP: $BR = 20 \times (V \times h)^{0,25} = 53 \text{ m}$
- ANA: $H_{barr} < BR < 5 \times H_{barr}$

O valor obtido através da formulação da GTPEP se situa dentro da faixa sugerida pela ANA, tendo sido adotado no presente estudo.

O talude da brecha (z) deverá ocorrer em inclinação 1:1 ($z = 1$), sendo este o valor limite dos critérios de projeto que produz maior área de brecha.

Em relação ao tempo de formação da brecha (TF), pelo critério exposto na GTPEP, é possível calculá-lo a partir do volume e da altura do barramento:

GTPEP: $TF = 4,8 \times V^{0,5} / h = 15 \text{ minutos}$

ANA: $30 < TF < 180 \text{ minutos}$

Tabela 3 - Parâmetros de Ruptura de trecho em enrocamento da PCH Cabeça de Boi Critérios Recomendados e Valores Adotados

Critério	Largura média da brecha (BR)	Talude da Brecha (z)	Tempo de Formação da Brecha (TF)
FERC	Largura de 1 ou mais blocos ou $BR < 0.5 W$	$z = 0$	$6 < TF < 18 \text{ minutos}$
GTPEP	Max ($W/3$, 3 blocos)	$z = 0$	$10 < TF < 15 \text{ minutos}$
ANEEL/USBR	Um múltiplo de vários blocos, sendo usualmente $BR < 0.5 W$	$z = 0$	$6 < TF < 18 \text{ minutos}$
Adotado	$BR = 12 \times 15 = 180 \text{ m}$	$z = 0$	$TF = 12 \text{ minutos}$

As Figuras 2 e 3, a seguir, apresentam a localização e dimensão das brechas de ruptura dos Cenários 2a.1 e 2a.2

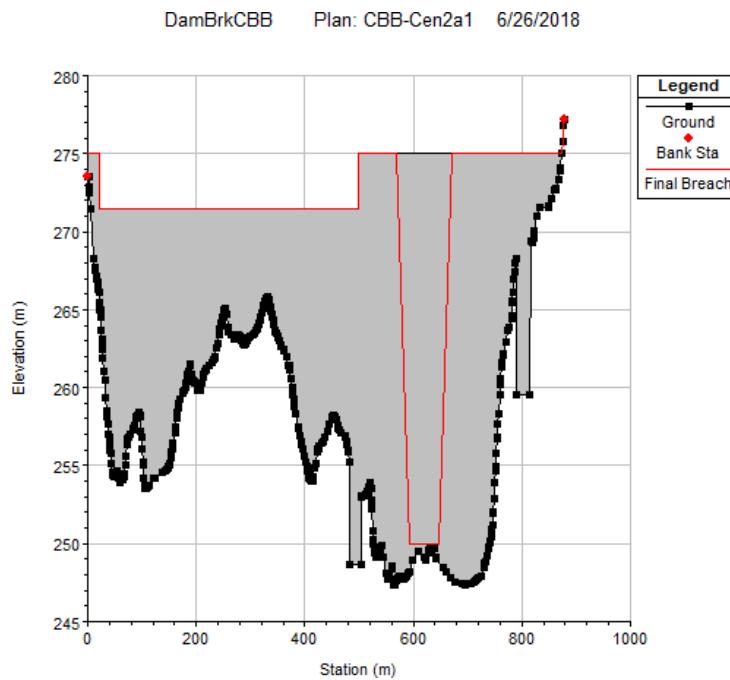


Figura 2 – Brecha de ruptura do trecho em enrocamento da PCH Cabeça de Boi, Cenário 2a.1

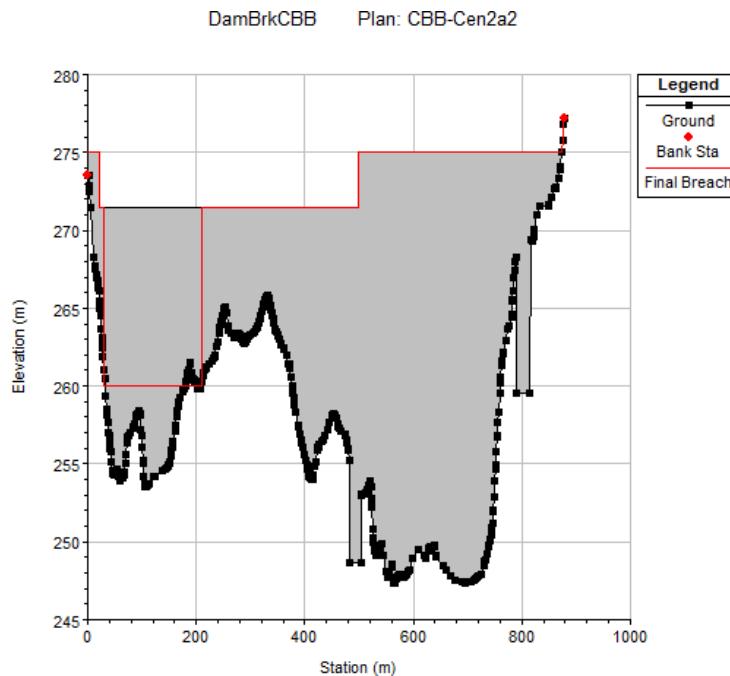


Figura 3 – Brecha de ruptura do trecho em concreto da PCH Cabeça de Boi, Cenário 2a.2

10.2. RESULTADOS DOS MODELOS DE RUPTURA

O produto dos modelos de ruptura são hidrograma de ruptura, um para cada cenário estudado, a

serem aplicados ao modelo de propagação para avaliar os efeitos a jusante.

A partir das simulações realizadas com os modelos de ruptura, adotando os parâmetros e critérios anteriormente descritos, foram obtidos os seguintes resultados, conforme apresentado a seguir.

- Cenário 2a.1 – Ruptura da Barragem de enrocamento da PCH Cabeça de Boi em Condições Normais

A Figura 4 apresenta os hidrogramas resultantes da simulação para ruptura da barragem de enrocamento da PCH Cabeça de Boi sob condições hidrológicas “normais”, para o qual se obteve uma vazão máxima de pico de 5.296 m³/s que, ao passar pelos reservatórios seguintes, foi atenuada para 1.616 m³/s, defluente à PCH da Fazenda.

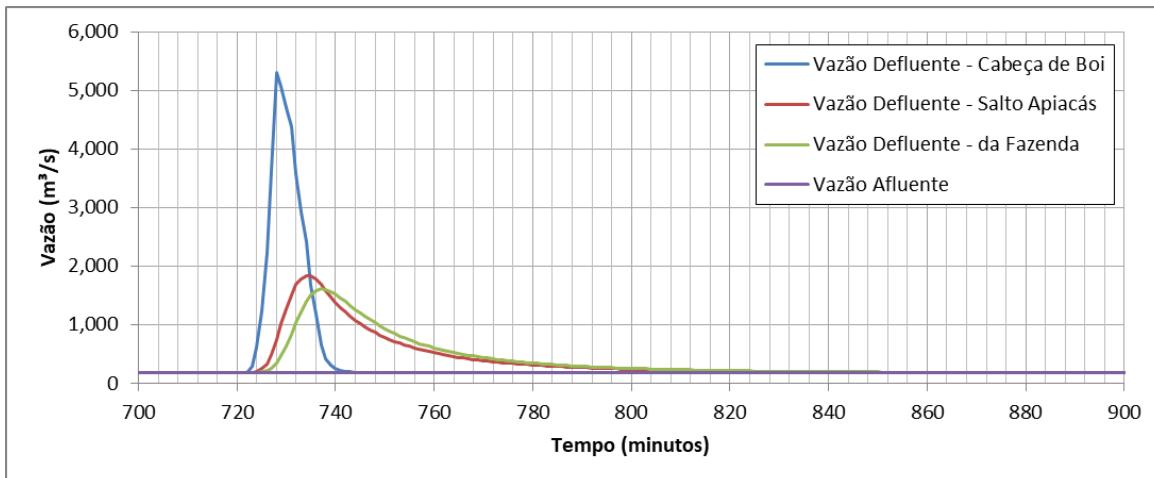


Figura 4 – Resultado dos Hidrogramas Defluentes – Cenário 2a.1

A Figura 5 apresenta os hidrogramas resultantes da simulação para ruptura do trecho de concreto da barragem da PCH Cabeça de Boi sob condições hidrológicas “normais”, para o qual se obteve uma vazão máxima de pico de 3.859 m³/s que, ao passar pelos reservatórios seguintes, foi atenuada para 1.357 m³/s, defluente à PCH da Fazenda.

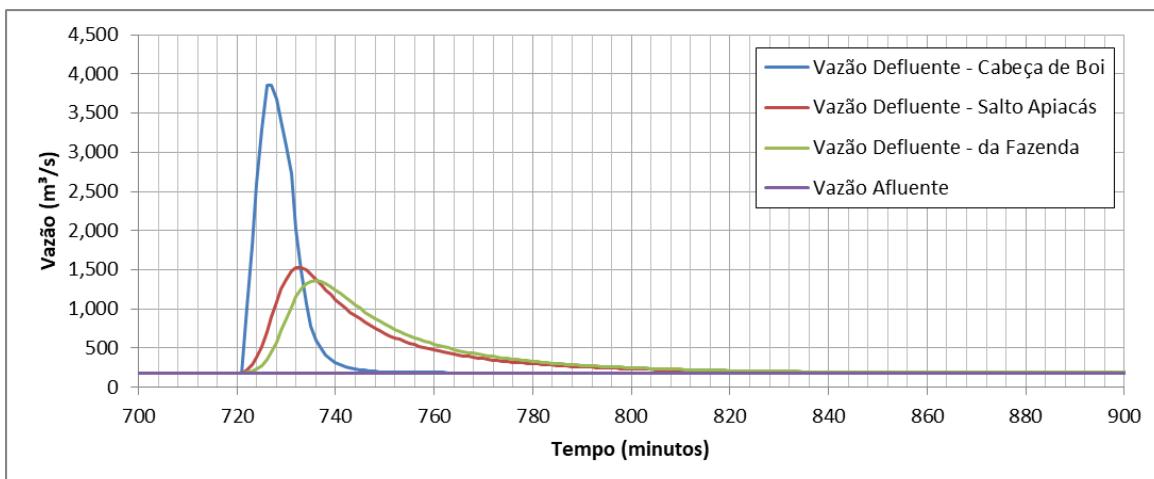


Figura 5 – Resultado dos Hidrogramas Defluentes – Cenário 2a.2

A Tabela 4 a seguir apresenta um resumo com os resultados de vazão máxima para os diferentes cenários simulados. Observa-se que, embora com tempo de formação da brecha inferior, o Cenário 2a.2 apresentou vazão de pico inferior à verificada no Cenário 2a.1, justificada pela altura da brecha.

Tabela 4 – Vazões de pico simuladas a jusante

Cenário	Vazão de pico (m ³ /s)
2a.1	1.616
2a.2	1.357

10.3. VERIFICAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS POR MÉTODOS EMPÍRICOS

Tendo por objetivo a verificação das vazões de pico dos hidrogramas a serem gerados pelo modelo hidráulico (HEC-RAS), procedeu-se o cálculo dessas vazões através de algumas equações empíricas. Observa-se uma grande dispersão nos resultados dessas formulações, indicando que o seu uso deve se limitar apenas à identificação de valores de referência e ordem de grandeza dos eventos.

Neste contexto, foram identificadas três metodologias, as quais são descritas matematicamente a seguir:

- **National Weather Service (NWS):**

$$Q_P = 0.2879 \cdot BR \left[\frac{C}{\frac{TF}{3600} + \frac{0.5521 \cdot C}{\sqrt{H}}} \right]^3, \quad C = \frac{1.762 \cdot 10^{-3} S_a}{BR}$$

Onde,

QP : Vazão máxima de ruptura (m³/s)

Sa : Área superficial do reservatório (m²)

H : Carga hidráulica (m)

BR : Comprimento da brecha (m)

TF : Tempo de formação da falha (s)

- **Webby:**

$$Q_P = 0.0443 \cdot g^{0.5} \cdot V^{0.367} \cdot h^{1.4}$$

Onde,

QP : Vazão máxima de ruptura (m³/s)

g : Aceleração da gravidade (m/s²)

V : Volume de agua no reservatório (m³)

h : Carga hidráulica (m)

- **Froehlich:**

$$Q_P = 0.607 \cdot V^{0.295} \cdot h^{1.24}$$

Onde,

QP : Vazão máxima de ruptura (m³/s)

V : Volume de água no reservatório (m³)

h : Carga hidráulica (m)

O Quadro 4 resume os critérios e parâmetros utilizados em cada uma das formulações para estimativa da vazão máxima (de pico) do hidrograma resultante da ruptura da barragem da UHE Salto Apiacás.

Tabela 5 - Critérios e Parâmetros Utilizados no Cálculo da Vazão Máxima (de Pico) para cada Formulação e Cenário de Ruptura (NWS, Webby e Froehlich)

Variáveis	Cenário 2a.1	Cenário 2a.1
S _a : Área superficial do reservatório (m ²)	704.000	704.000
V : Volume de agua no reservatório (m ³)	1.836.000	1.836.000
NA do reservatório (m)	271,50	271,50
Cota do fundo da brecha (m)	250,00	260,00
H : Carga hidráulica (m)	21,5	21,5
BR : Comprimento da brecha (m)	53	180
TF : Tempo de formação da falha (s)	900	720
g : Aceleração da gravidade (m/s ²)	9,81	9,81

A Tabela 6 apresenta os resultados de vazão máxima (de pico) dos hidrogramas encontrados com a aplicação de cada uma dessas formulações de ruptura, incluindo ainda os valores resultados da modelagem com o modelo matemático.

Observa-se que os valores calculados a partir da aplicação do modelo HEC-RAS são coerentes com os valores encontrados a partir da formulação proposta pelo NWS, divergindo significativamente para as outras duas formulações teóricas também aplicadas para cálculo da vazão máxima (de pico) originada a partir da falha das estruturas hidráulicas da barragem.

Tabela 6 - Resultados da Vazão Máxima (de Pico) de Ruptura (m³/s) Calculados a partir da Aplicação de Diferentes Metodologias Comparados aos Valores do Modelo Matemático HEC-RAS

Metodologia Aplicada	Cenário 2a.1	Cenário 2a.1
NWS	6.985	6.985
Webby	2.025	2.025
Froehlich	1.698	1.698
HEC-RAS	5.296	3.859

10.4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

- Cenário 2a.1 – Ruptura da Barragem da PCH Cabeça de Boi em Condições Normais

A Figura 6 apresenta os hidrogramas resultantes da simulação do Cenário 2a.1, onde ocorre a ruptura da barragem da PCH Cabeça de Boi sob condições hidrológicas “normais”. Observa-se que ocorre um abatimento considerável do pico do hidrograma ao longo da calha do rio Apiaçás. Na legenda, os valores se referem às distâncias entre as seções transversais e o eixo do barramento da PCH Cabeça de Boi.

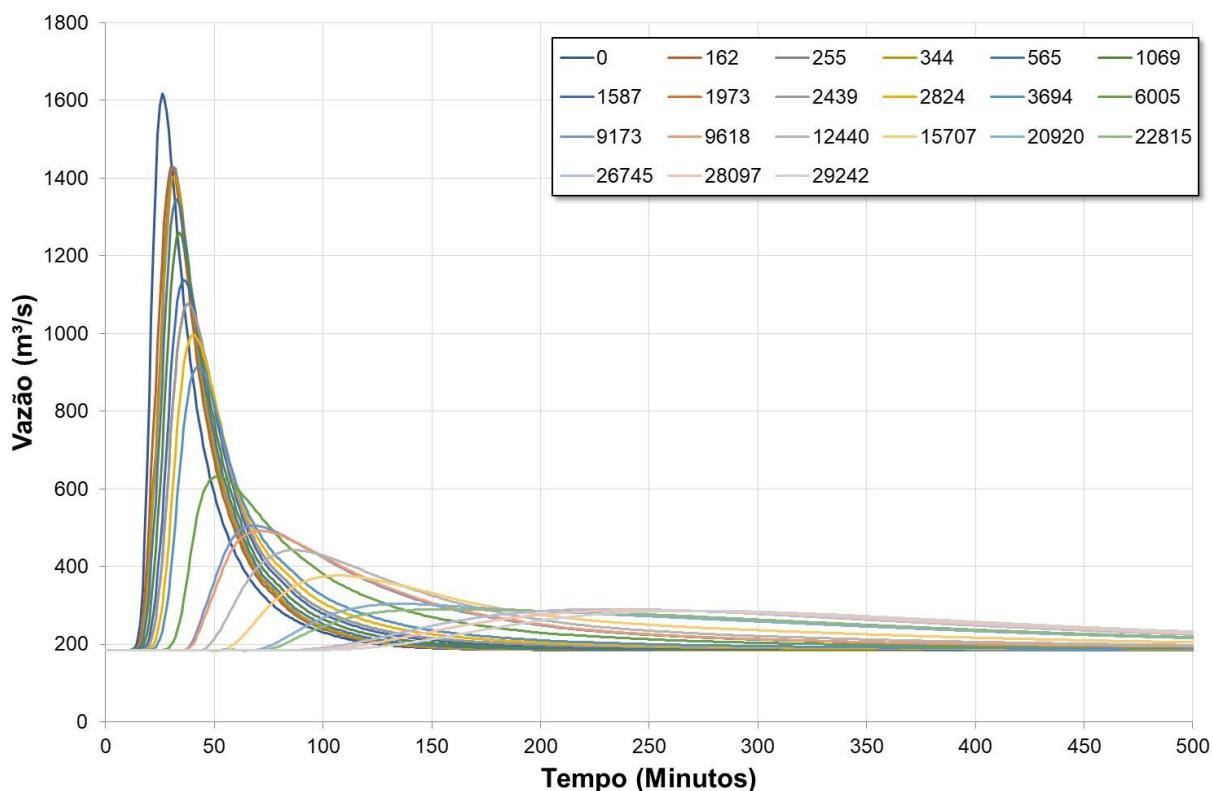


Figura 6 - Resultados (Vazão) da Propagação do Hidrograma de Ruptura – Cenário 2^{a.1}

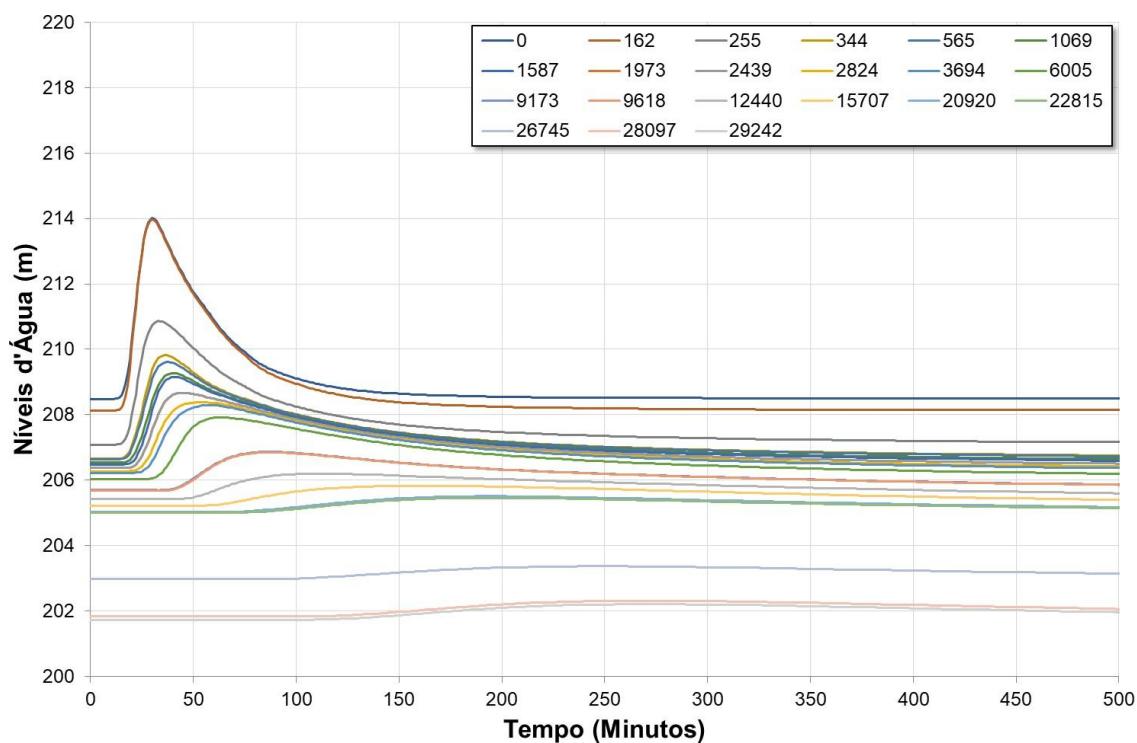


Figura 7 - Resultados (Nível d'Água) da Propagação do Hidrograma de Ruptura – Cenário 2a.1

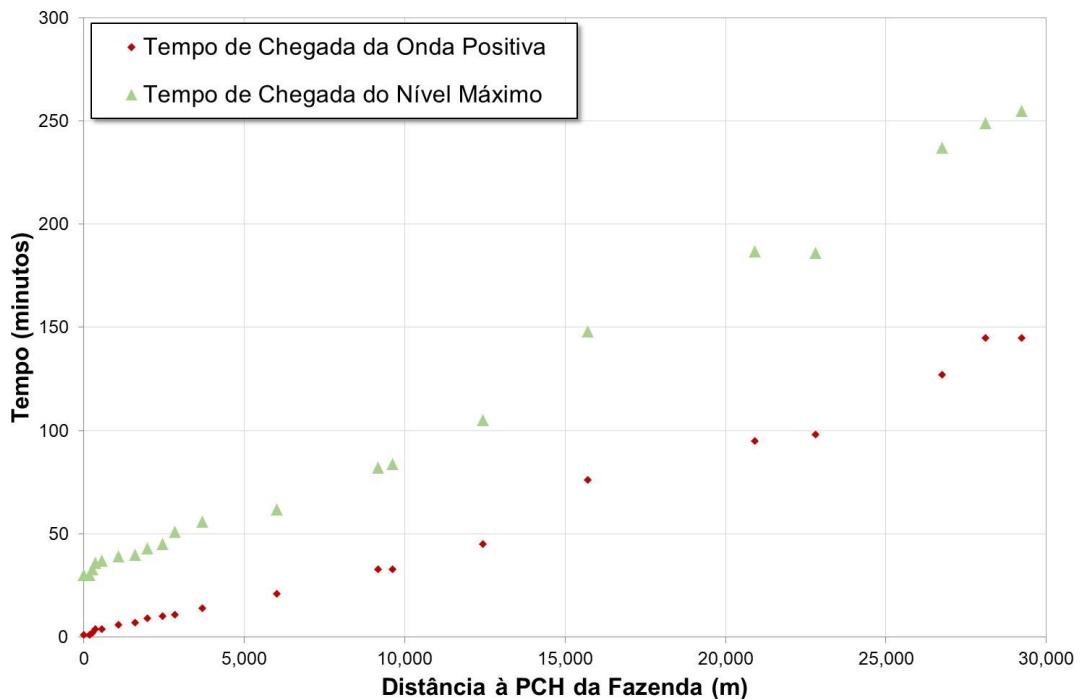


Figura 8 - Resultados (Nível d'Água) da Propagação do Hidrograma de Ruptura – Cenário 2a.1

Sendo a Zona de Auto Salvamento (ZAS) definida como a distância associada ao tempo de chegada da onda de inundação igual 30 minutos, neste cenário a ZAS estaria delimitada até a distância 9,1 km a jusante do eixo da PCH da Fazenda, barragem mais a jusante do Complexo hidrelétrico Apiacás.

Imediatamente a jusante da PCH Cabeça de Boi (início do reservatório da UHE Salto Apicás), o nível máximo simulado foi de 249,36 m, sendo atingido 13 minutos após o início da ruptura. O NA Max.

Maximorum (definido para TR = 1.000 anos) de jusante da PCH da Cabeça de Boi é de 249,53 m, superior, portanto ao NA máximo simulado.

- **Cenário 2a.2 – Ruptura do trecho em concreto da Barragem da PCH Cabeça de Boi em Condições Normais**

A Figura 9 apresenta os hidrogramas resultantes da simulação do Cenário 2a.2, onde ocorre a ruptura do trecho em concreto da barragem da PCH Cabeça de Boi sob condições hidrológicas “normais”.

Observa-se que ocorre um abatimento considerável do pico do hidrograma ao longo da calha do rio Apicás. Na legenda, os valores se referem às distâncias entre as seções transversais e o eixo do barramento da PCH Cabeça de Boi.

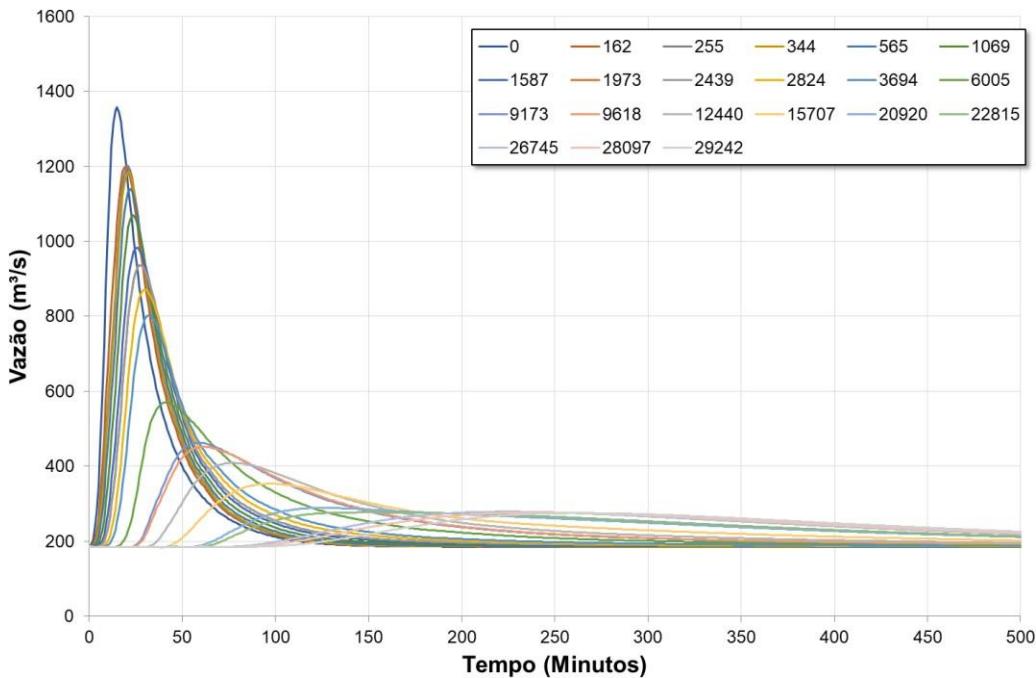


Figura 9 – Resultados (Vazão) da Propagação do Hidrograma de Ruptura – Cenário 2a.2

A Figura 10 apresenta os limnigramas resultantes da simulação do Cenário 2a.2.

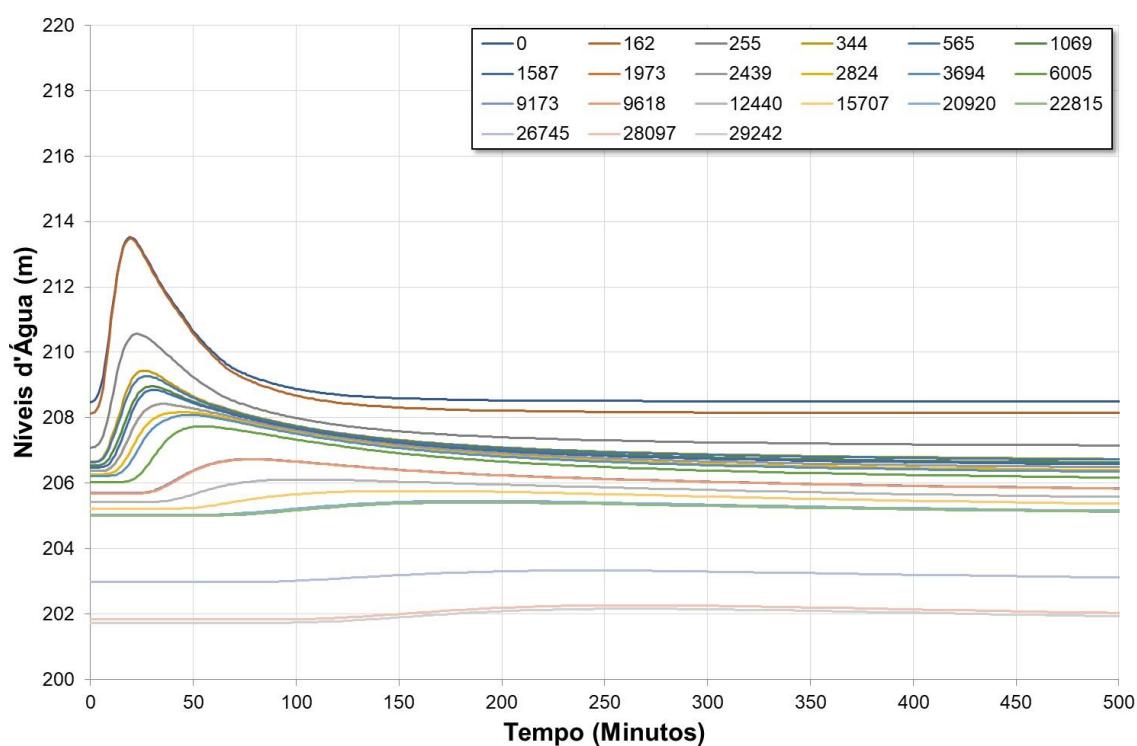


Figura 10 - Resultados (Nível d'Água) da Propagação do Hidrograma de Ruptura – Cenário 2a.2

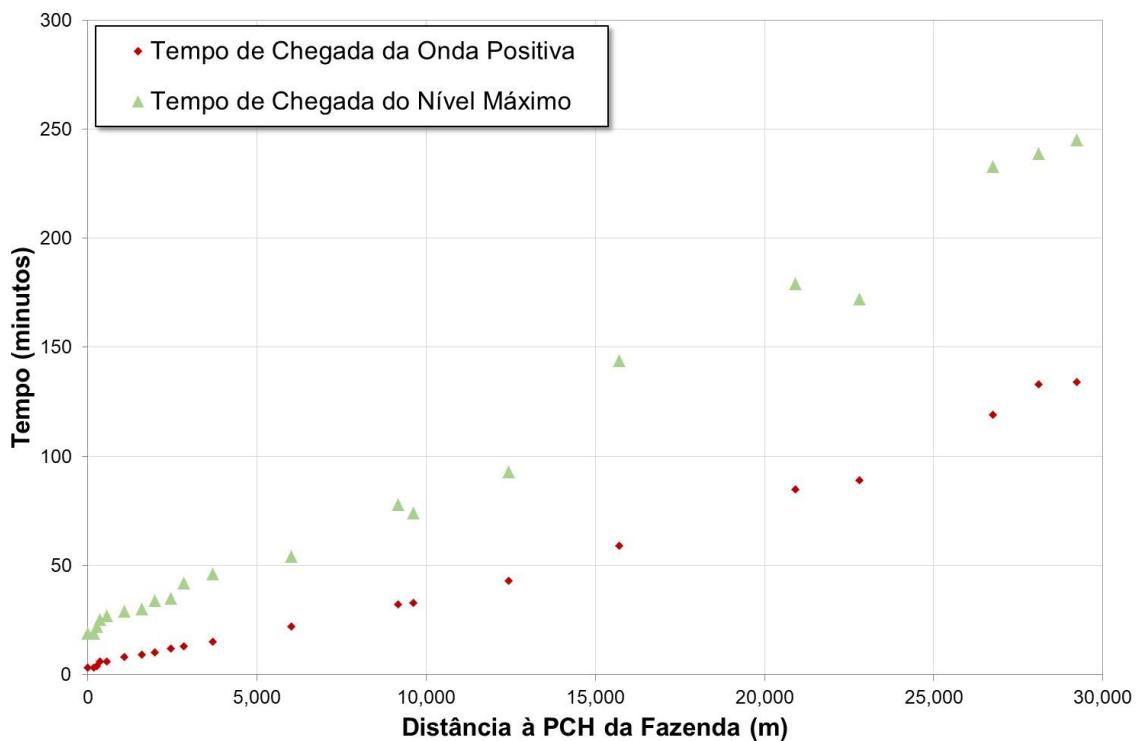


Figura 11 - Resultados do Tempo de Chegada da Onda Positiva e do Pico – Cenário 2a.2

Sendo a Zona de Auto Salvamento (ZAS) definida como a distância associada ao tempo de chegada da onda de inundação igual 30 minutos, neste cenário a ZAS estaria delimitada até a distância 9,1 km

 Green Power	Operation & Maintenance	CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.03 PAGE 25 of 28
---	------------------------------------	---

a jusante do eixo da PCH da Fazenda, barragem mais a jusante do Complexo hidrelétrico Apiacás. Imediatamente a jusante da PCH Cabeça de Boi (início do reservatório da UHE Salto Apiacás), o nível máximo simulado foi de 249,16 m, sendo atingido 12 minutos após o início da ruptura. O NA Max.

Maximorum (definido para TR = 1.000 anos) de jusante da PCH da Cabeça de Boi é de 249,53 m, superior, portanto, ao NA máximo simulado.

10.5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram simulados cenários de ruptura da segunda barragem do Complexo Hidrelétrico Apiacás – UHE Salto Apiacás –, tendo sido verificado o efeito de amortecimento da onda cheia no reservatório seguinte.

Não se dispõe, no momento, de um modelo digital de terreno a jusante das barragens que permita a delimitação segura de manchas de inundação decorrente desses eventos simulados. Dessa forma, o resultado das simulações foi condensado em tabelas informando, para cada cenário simulado, os níveis d'água máximos alcançados pela onda de cheia propagada em cada seção existente, o que permitirá a confecção futura das manchas de inundação associadas.

Da mesma forma, estas tabelas apresentam também os máximos valores de vazão e velocidade média nessas seções, para cada cenário, e os tempos decorridos desde o início das rupturas até a chegada da onda propagada e até a chegada do pico propagado, para todas as seções existentes a jusante do complexo.

É recomendável que as simulações de propagação de ondas artificiais sejam reavaliadas depois da obtenção do modelo digital de terreno, pois o melhor conhecimento das características da planície de inundação poderá proporcionar resultados mais confiáveis para a delimitação de manchas.

Com o modelo digital de terreno a jusante será possível também empregar uma modelagem bidimensional para a propagação das cheias artificiais. Os resultados desse modelo podem fornecer avaliações de risco especializadas, com a determinação de profundidades e velocidades em qualquer ponto da área inundada, e não apenas valores médios por seção transversal.

 Operation & Maintenance		CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.03 PAGE 26 of 28
---	--	---

11. TREINAMENTOS – PAE

Todos os participantes do Plano de Ação Emergencial deverão ser alvo de treinamento para conscientização e familiarização com as atividades que deverão exercer. O treinamento deverá dar ênfase à mobilização dos recursos internos envolvidos.

Os integrantes deverão participar dos cursos de reciclagem das atividades, que terão como finalidade a preparação para a prontidão efetiva, e que serão ministrados após a atualização geral dos cadastros.

Os treinamento seguirão conforme resolução 1064/2023 :

§ 8º O exercício prático de simulação de situação de emergência deve ser realizado com a população da ZAS com frequência e organização definida conjuntamente com os órgãos de proteção e defesa civil, no que couber.

§ 9º A frequência para realização do exercício prático de simulação de que trata o §8º não deverá exceder 3 anos, salvo manifestação dos órgãos de proteção e defesa civil competentes.

12. SISTEMA SONORO DE ALERTA

Não foram identificados moradores permanentes dentro da Zona de Autossalvamento (ZAS) da PCH Cabeça de Boi, mas foi definido o sistema de alerta sonoro composto por sirenes estrategicamente instaladas. Essa solução visa atender eventuais necessidades de comunicação emergencial, de acordo com o *§ 6º O PAE deverá contemplar a previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência, nos locais habitados na ZAS, devendo conter avaliação quanto a essa abrangência e cabendo ao empreendedor sua implantação, operação e manutenção em articulação com os órgãos locais de proteção e defesa civil.*



Operation & Maintenance

CODE
GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.03

PAGE
27 of 28

13. ASSINATURA DOS RESPONSÁVEIS

Jayme Barg

Responsável Legal
CREA: 1989105709

Eng. Juliana Martins Pereira

Responsável Técnico
CREA: 2605272010

 Green Power	Operation & Maintenance	CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.015.03 PAGE 28 of 28
--	-------------------------	---

14. ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS ZONA DE AUTOSSALVAMENTO

Item	Nº Enel Green Power	Título
1	GRE.OEM.R.88.BR.H.01PAP.08.007.00	Relatório de Cadastramento ZAS
2	GRE.OEM.D.88.BR.H.01PAP.08.011	MAPA ÍNDICE DAS PLANTAS DE ROTA DE FUGA, PONTOS DE ENCONTRO E PROJETO DE SINALIZAÇÃO

ANEXO 2: PLANO DE EVACUAÇÃO

Item	Nº Enel Green Power	Título
1	GRE.OEM.R.88.BR.H.01PAP.08.009.00	Plano de Evacuação

ANEXO 3: RELATÓRIO SIMULADO DE MESA TABLETOP

Item	Nº Enel Green Power	Título
1	GRE.OEM.R.88.BR.H.68501.09.018.00	Relatório de Simulado de Mesa

ANEXO 4 – RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE SIRENES

Item	Nº Enel Green Power	Título
1	GRE.OEM.R.88.BR.H.68499.09.037.00	Relatório de Instalação de Sirenes